



PCT/FR 0 3 / 0 2 0 5 7

REC'D 3 0 SEP 2003

WIPO PCT

BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 30 MAI 2003

Pour le Directeur général de l'Institut
national de la propriété Industrielle
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

DOCUMENT DE PRIORITÉ

PRÉSENTÉ OU TRANSMIS
CONFORMÉMENT À LA
RÈGLE 17.1.a) OU b)

INSTITUT
NATIONAL DE
LA PROPRIÉTÉ
INDUSTRIELLE

SIEGE
26 bis, rue de Saint Petersburg
75800 PARIS cedex 08
Téléphone : 33 (0)1 53 04 53 04
Télécopie : 33 (0)1 53 04 45 23
www.inpi.fr



INSTITUT
NATIONAL DE
LA PROPRIÉTÉ
INTELLECTUELLE
26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08
Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 94 86 54

BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété Intellectuelle - Livre VI



N° 11354*01

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE 1/2

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

08 540 W / 252899

REMISE DES PIÈCES DATE 5 JUIL 2002 LIEU 75 INPI PARIS N° D'ENREGISTREMENT 0208453 NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE PAR L'INPI 05 JUIL 2002		Réservé à l'INPI NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE BREVATOME 3, rue du Docteur Lancereaux 75008 PARIS 422-5/S002	
Vos références pour ce dossier (facultatif) B 14025.3 PV DD 2306			
Confirmation d'un dépôt par télécopie <input type="checkbox"/> N° attribué par l'INPI à la télécopie			
2 NATURE DE LA DEMANDE		Cochez l'une des 4 cases suivantes	
Demande de brevet		<input checked="" type="checkbox"/>	
Demande de certificat d'utilité		<input type="checkbox"/>	
Demande divisionnaire		<input type="checkbox"/>	
Demande de brevet initiale ou demande de certificat d'utilité initiale		N°	Date
		N°	Date
Transformation d'une demande de brevet européen Demande de brevet initiale		<input type="checkbox"/>	Date
		N°	Date
3 TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum) DISPOSITIF ELECTRONIQUE, NOTAMMENT DISPOSITIF DE PUISSANCE, A COUCHE MINCE, ET PROCEDE DE FABRICATION DE CE DISPOSITIF			
4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE		Pays ou organisation Date / / N° Pays ou organisation Date / / N° Pays ou organisation Date / / N° <input type="checkbox"/> S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
5 DEMANDEUR		<input type="checkbox"/> S'il y a d'autres demandeurs, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
Nom ou dénomination sociale		COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE	
Prénoms			
Forme juridique		Etablissement Public de Caractère Scientifique, Technique et Industriel	
N° SIREN			
Code APE-NAF			
Adresse	Rue	31-33, rue de la Fédération	
	Code postal et ville	75752	PARIS 15ème
Pays		FRANCE	
Nationalité		Française	
N° de téléphone (facultatif)			
N° de télécopie (facultatif)			
Adresse électronique (facultatif)			



BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITÉ

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE 2/2

REMISE DES PIÈCES DATE 03 JUIN 2002 LIEU 75 INPI PARIS N° D'ENREGISTREMENT 0208453 NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI		Réservé à l'INPI	DB 540 VI / 260893
Vos références pour ce dossier : <i>(facultatif)</i>		B 14025.3 PV DD 2306	
6 MANDATAIRE			
Nom		LEHU	
Prénom		Jean	
Cabinet ou Société		BREVATOME 422-5/S002	
N° de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel		PG 7068	
Adresse	Rue	3, rue du Docteur Lancereaux	
	Code postal et ville	75008 PARIS	
N° de téléphone <i>(facultatif)</i>		01 53 83 94 00	
N° de télécopie <i>(facultatif)</i>		01 45 63 83 33	
Adresse électronique <i>(facultatif)</i>		brevets.patents@brevallex.com	
7 INVENTEUR (S)			
Les inventeurs sont les demandeurs		<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non Dans ce cas fournir une désignation d'inventeur(s) séparée	
8 RAPPORT DE RECHERCHE		Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformation)	
Établissement immédiat ou établissement différé		<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Paiement échelonné de la redevance		Paiement en trois versements, uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
9 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES		Uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Requête pour la première fois pour cette invention <i>(joindre un avis de non-imposition)</i> <input type="checkbox"/> Requête antérieurement à ce dépôt <i>(joindre une copie de la décision d'admission pour cette invention ou indiquer sa référence)</i> :	
Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite», indiquez le nombre de pages jointes			
10 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire) J. LEHU		VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI 	

La loi n°78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés s'applique aux réponses faites à ce formulaire. Elle garantit un droit d'accès et de rectification pour les données vous concernant auprès de l'INPI.

DISPOSITIF ELECTRONIQUE, NOTAMMENT DISPOSITIF DE
PUISSANCE, A COUCHE MINCE, ET PROCEDE DE FABRICATION DE
CE DISPOSITIF
DESCRIPTION

5 DOMAINE TECHNIQUE

La présente invention concerne un dispositif électronique à couche mince, en particulier un dispositif microélectronique de puissance à couche mince, ainsi qu'un procédé de fabrication de ce
10 dispositif.

Elle s'applique notamment aux dispositifs de commande de moteurs électriques et aux convertisseurs de tension.

Les dispositifs microélectroniques de
15 puissance, ou composants microélectroniques de puissance, sont des structures formées sur des substrats semiconducteurs. Ils sont généralement utilisés comme interrupteurs pour réaliser des organes de conversion d'énergie.

20 La plupart de ces composants ont une structure verticale : dans un composant de ce genre, le courant circule entre la face avant et la face arrière du substrat sur lequel il est formé.

Un composant de puissance est caractérisé
25 par deux paramètres principaux :

- sa tenue en tension, qui dépend de l'épaisseur et de la résistivité du substrat sur lequel il est formé, et
- son calibre en courant, qui dépend de la
30 surface active du composant, cette surface étant la plus petite possible pour des questions de coût.

On classe les composants de puissance en deux catégories, suivant leur type de conduction :

- la catégorie des composants à conduction unipolaire, où un seul type de porteur participe à la circulation du courant, cette catégorie contenant par exemple les transistors MOS, et

- la catégorie des composants à conduction bipolaire, où les deux types de porteurs participent à la conduction, cette catégorie contenant par exemple les IGBT (transistors bipolaires à grille isolée).

L'un des aspects de l'optimisation d'un composant de puissance consiste à réduire ses pertes, à calibre en tension et densité de courant donnés. On distingue quatre sortes de pertes :

- les pertes dues au passage de l'état non conducteur à l'état conducteur, appelées pertes OFF=>ON, qui sont en majeure partie imposées par des éléments extérieurs au composant considéré (circuit),

- les pertes dues à l'état conducteur, appelées pertes à l'état ON ou pertes statiques ON, dont la diminution (à calibre en courant fixé) nécessite de réduire la chute de tension aux bornes du composant considéré lorsque celui-ci conduit le courant, ce qui revient à réduire sa résistance ON notée R_{on} (résistance à l'état conducteur),

- les pertes dues au passage de l'état conducteur à l'état non conducteur, appelées pertes ON=>OFF, et

- les pertes dues à l'état non conducteur, appelées pertes à l'état OFF ou pertes statiques OFF, qui sont négligeables par rapport aux autres pertes.

Dans la présente invention, on s'intéresse à la réduction des pertes statiques ON et des pertes de commutation ON=>OFF en particulier dans les composants bipolaires (par exemple IGBT).

5 Comme on l'a vu, pour diminuer les pertes à l'état ON d'un composant de puissance (à calibre en courant fixé), il faut réduire la chute de tension aux bornes de ce composant lorsque celui-ci conduit le courant. Cela revient à réduire la résistance ON (R_{on})
10 de ce composant.

Pour diminuer cette résistance R_{on} , quatre possibilités existent :

- On peut réduire l'épaisseur du substrat du composant; en effet, on a seulement besoin au plus
15 de $0,1\mu m$ d'épaisseur par volt de tenue en tension, c'est à dire de $60\mu m$ d'épaisseur pour un composant dont la tenue en tension est 600V.

Actuellement, la limitation de l'épaisseur se heurte au problème du rendement mécanique : plus la
20 plaque du substrat est fine, plus elle est fragile.

- On peut augmenter la surface active de passage du courant. Ceci se fait au détriment du coût; on cherche plutôt à réduire au maximum la surface de la zone active.

25 - On peut diminuer la résistivité du substrat; à tenue en tension donnée, il existe un optimum pour la résistivité du substrat.

- On peut augmenter l'injection de porteurs minoritaires dans la zone faiblement dopée du
30 composant. Dans le cas d'un composant IGBT il suffit, pour ce faire, de former une couche $P+$ fortement dopée

sur la face arrière de ce composant. Mais cela se fait au détriment des pertes en commutation ON=>OFF. Il y a donc un compromis à trouver entre les caractéristiques à l'état ON et les caractéristiques de commutation ON=>OFF.

Pour réduire simultanément les pertes à l'état ON et les pertes de commutation ON=>OFF, une voie envisageable est :

- de réduire l'épaisseur du substrat au minimum qui est imposé par le critère de tenue en tension, et

- d'optimiser l'injection par la face arrière, en se plaçant au meilleur compromis entre les pertes ON=>OFF et la chute de tension ON.

Ce compromis est dicté par le type d'application dans lequel on souhaite utiliser le composant de puissance. On se place à la limite basse pour l'injection par la face arrière sans que cela ne dégrade les caractéristiques à l'état conducteur, ou caractéristiques ON, du composant. On fait simplement un émetteur moins efficace.

Il convient de noter que la présente invention s'applique aussi à la fabrication de composants unipolaires et de composants bipolaires sur des plaques ultraminces, dont la fabrication nécessite des étapes de traitement (par exemple des lithographies, des gravures, et des implantations) de la face arrière de ces plaques.

ETAT DE LA TECHNIQUE ANTERIEURE

Il est connu de former un composant de puissance sur un substrat massif (en anglais "bulk") "standard". Ce dernier est initialement homogène : le
5 dopage est identique en tout point de ce substrat.

L'épaisseur du substrat n'est pas optimisée pour la tenue en tension visée. Par exemple, pour un composant du type 600V, du point de vue électrique il suffirait d'un substrat ayant une épaisseur de 60 μ m au
10 lieu des épaisseurs supérieures à 200 μ m habituellement utilisées.

Les pertes à l'état ON peuvent être réduites en formant un émetteur de forte efficacité, au détriment de la réduction des pertes ON=>OFF, ou vice-
15 versa.

L'utilisation de substrats massifs "standard" oblige ainsi à trouver un compromis entre réduction des pertes ON et réduction des pertes ON=>OFF.

20 Il est également connu d'amincir un substrat à la fin du procédé de fabrication d'un composant de puissance sur ce substrat. On obtient ainsi un composant sur une plaque ultra-mince.

On met en oeuvre le début du procédé sur
25 une plaque standard, dont l'épaisseur est supérieure à 300 μ m, puis on amincit cette plaque par la face arrière jusqu'à l'obtention de l'épaisseur voulue, par exemple jusqu'à 70 μ m pour des substrats de 150mm de diamètre. Ensuite, on accomplit les étapes de face arrière en
30 prenant soin de réduire leur nombre au minimum.

En optimisant les dopages de la face arrière et les recuits, on peut obtenir un émetteur dont l'efficacité est suffisamment élevée pour ne pas dégrader Ron et suffisamment faible pour réduire les pertes de commutation ON=>OFF.

A ce sujet, on pourra consulter les documents suivants :

T. LASKA, M. MATSCHITSCH et W. SCHOLZ, "Ultra-thin wafers technology for a new 600V-NPT-IGBT", ISPSD'1997, 1997, pages 361 à 364

T. LASKA, M. MUNZER, F. PFIRSCH, C. SCHAEFFER et T. SCHMIDT, "The Field Stop IGBT (FS IGBT), a new power device concept with a great improvement potential", ISPSD'2000, mai 2000, pages 355 à 358.

Cette technique des plaques amincies en fin de procédé permet d'obtenir des plaques minces avec un émetteur de faible efficacité, dont la couche P+ est obtenue avec une faible dose implantée et une faible diffusion, ce qui réduit simultanément les pertes statiques ON et les pertes dynamiques ON=>OFF.

Cependant, l'utilisation de cette technique est limitée par la solidité des plaques : plus les plaques sont minces et plus le rendement mécanique diminue.

Ainsi les utilisateurs de cette technique sont-ils actuellement limités à une épaisseur de 70µm pour des plaquettes (en anglais "wafers") de 6 pouces (environ 15cm) de diamètre. Ils ne peuvent pas passer à des plaquettes de 8 pouces (environ 20cm) tout en conservant cette épaisseur de 70µm.

En outre, pour réduire "l'épaisseur électrique" (c'est à dire l'épaisseur électriquement active) d'un composant de puissance, il est connu de former ce composant sur un substrat épitaxié.

5 Il s'agit d'une couche fortement résistive de faible épaisseur, déposée sur un substrat semiconducteur fortement dopé, le composant de puissance étant formé sur la face de forte résistivité du substrat.

10 Cette technique permet de réduire la chute de tension lors du passage du courant, et donc les pertes à l'état ON, car la couche résistive est de faible épaisseur (cette dernière étant optimisée pour la tenue en tension visée).

15 Mais cette technique ne permet pas de réduire les pertes en commutation ON=>OFF car l'émetteur de face arrière est composé d'une "semelle" P+ de forte épaisseur et fort dopage. Ceci entraîne une forte injection de porteurs minoritaires dans la zone
20 faiblement dopée et conduit à de longs temps de commutation ON=>OFF et donc à de fortes pertes.

Pour réduire cette injection en face arrière, une zone N peut être insérée juste au dessus de la zone P+, lors de la fabrication du substrat. On
25 obtient alors une jonction P+/N qui injecte moins de porteurs minoritaires dans la zone N- que si l'on avait une jonction P+/N-.

Notons que cette technique est parfois utilisée lors de la fabrication de composants sur des
30 plaques standard ou sur des plaques minces.

La technique qui utilise des substrats epi permet donc de réduire les pertes ON mais entraîne des pertes ON=>OFF relativement élevées.

L'art antérieur que l'on a exposé est très schématiquement illustré par les figures 1 à 3.

La technique utilisant un substrat semiconducteur massif « standard » est très schématiquement illustrée par la figure 1 où l'on voit ce substrat 2 dans lequel est formé un composant 4 de puissance à structure verticale. Ce composant comporte des zones qui sont implantées dans le substrat.

Par exemple, en supposant que le substrat 2 est de type N, une zone 6 de type P est implantée du côté de la face avant de ce substrat, plusieurs zones 8 de type N+ sont implantées dans cette zone 6 et une autre zone 10 de type P, de faible épaisseur, est implantée du côté de la face arrière du substrat.

Sur la figure 1, la référence 12 symbolise des contacts électriques associés aux zones 6 et 8 et la référence 14 symbolise un contact électrique associé à la zone 10.

La technique utilisant un substrat semiconducteur que l'on amincit à la fin du procédé de fabrication du composant de puissance est très schématiquement illustrée par la figure 2 où l'on voit ce substrat 16 ainsi que ce composant 4, dont la structure est identique à celle qui a été décrite plus haut, en faisant référence à la figure 1, mais qui est formé dans ce substrat 16.

La technique utilisant un substrat semiconducteur épitaxié est très schématiquement

illustrée par la figure 3 où l'on voit un substrat semiconducteur 18 par exemple de type P+, ayant une très faible résistivité et comportant une zone 20 de type N sur sa face avant.

5 Sur cette zone 20 est épitaxiée une zone semiconductrice 22 de faible épaisseur, de type N-. Le composant 24 de puissance, qui est formé sur le substrat epi, comprend, dans cette zone 22, du côté de la face avant de cette dernière, une zone implantée 26
10 de type P et plusieurs zones 28 de type N+ qui sont implantées dans cette zone 26.

Sur la figure 3, la référence 30 symbolise des contacts électriques associés aux zones 26 et 28 et la référence 32 symbolise un contact électrique qui est
15 formé sur la face arrière du substrat 18.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

La présente invention a pour but de remédier aux inconvénients mentionnés plus haut à
20 propos de ces trois techniques connues.

Elle a tout d'abord pour objet un dispositif électronique comprenant une partie active, une première couche mince qui est faite d'un matériau semiconducteur et dans laquelle est formée cette partie
25 active, et un substrat qui est fait d'un matériau électriquement conducteur, ce dispositif étant caractérisé en ce qu'il comprend en outre une deuxième couche mince, qui est faite d'un matériau électriquement conducteur et située entre le substrat
30 et la première couche mince et qui assure un collage

électriquement conducteur entre ce substrat et cette première couche mince.

Le matériau dont est faite la deuxième couche mince peut être un métal.

5 En variante, le matériau dont est faite la deuxième couche mince est un alliage semiconducteur/métal.

Cet alliage dont est faite la deuxième couche mince est de préférence choisi de façon qu'il soit stable vis-à-vis des matériaux dont sont respectivement faits le substrat et la première couche mince.

10 Le matériau dont est fait le substrat peut être un semiconducteur fortement dopé, en particulier le silicium fortement dopé.

Dans ce cas le matériau dont est faite la deuxième couche mince peut être un métal, ce métal étant choisi de façon qu'il forme, lors du collage électriquement conducteur, un alliage stable avec le semiconducteur fortement dopé dont est fait le substrat et avec le matériau semiconducteur dont est faite la première couche mince.

20 En variante, le matériau dont est fait le substrat est un métal.

25 Dans ce cas, la deuxième couche mince peut être faite du métal dont est fait le substrat et formée par une partie de ce substrat.

La présente invention concerne aussi un procédé de fabrication d'un dispositif électronique, ce procédé étant caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes :

-on forme une partie du dispositif dans un substrat semiconducteur standard, du côté de la face avant de ce substrat semiconducteur standard,

5 -on fixe un support de traitement à la face avant du substrat,

-on amincit le substrat semiconducteur standard par la face arrière de celui-ci, de manière à le transformer en une couche mince,

10 -on forme une autre partie du dispositif dans le substrat semiconducteur standard ainsi transformé, du côté de la face arrière de ce substrat semiconducteur standard,

15 -on dépose, sur la face arrière de ce substrat semiconducteur standard et/ou sur une face d'un substrat électriquement conducteur, une couche mince, formée d'un métal ou d'un alliage métal/semiconducteur,

20 -on procède, par l'intermédiaire de la couche mince, formée du métal ou de l'alliage métal/semiconducteur, à un collage électriquement conducteur entre le substrat électriquement conducteur et la couche mince en laquelle a été transformé le substrat semiconducteur standard, et

-on enlève le support de traitement.

25 La présente invention concerne en outre un procédé de fabrication d'un dispositif électronique, ce procédé étant caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes :

30 -on forme une partie du dispositif dans un substrat semiconducteur standard, du côté de la face arrière de ce substrat semiconducteur standard,

-on dépose, sur la face arrière de ce substrat semiconducteur standard et/ou sur une face d'un substrat électriquement conducteur, une couche mince, formée d'un métal ou d'un alliage
5 métal/semiconducteur,

-on procède à un collage électriquement conducteur entre le substrat électriquement conducteur et le substrat semiconducteur standard, par l'intermédiaire de la couche mince,

10 -on amincit le substrat semiconducteur standard par la face avant de celui-ci, de manière à le transformer en une couche mince, et

-on forme une autre partie du dispositif dans le substrat semiconducteur standard ainsi
15 transformé, du côté de la face avant de ce substrat semiconducteur standard.

On peut former en outre des contacts électriques du dispositif sur la couche mince, en laquelle a été transformé le substrat semiconducteur
20 standard, et sur le substrat électriquement conducteur.

Le substrat électriquement conducteur peut être fait d'un matériau choisi parmi les semiconducteurs fortement dopés, en particulier le silicium fortement dopé, et les conducteurs, en
25 particulier les métaux.

En particulier, le substrat électriquement conducteur peut être fait d'un matériau choisi parmi les semiconducteurs fortement dopés, en particulier le silicium fortement dopé, le métal ou l'alliage
30 métal/semiconducteur étant choisi de sorte qu'il forme, après un recuit suivant le collage

électriquement conducteur, un alliage stable avec le matériau dont est fait le substrat électriquement conducteur et avec le matériau dont est fait le substrat semiconducteur standard.

5 De préférence, l'étape de collage électriquement conducteur est précédée d'une étape de préparation d'au moins l'une des deux faces à assembler par le collage électriquement conducteur afin de favoriser ce collage.

10 De préférence également, le collage électriquement conducteur est choisi parmi le collage par brasure, le collage par thermocompression et le collage par adhésion moléculaire.

15 BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

La présente invention sera mieux comprise à la lecture de la description d'exemples de réalisation donnés ci-après, à titre purement indicatif et nullement limitatif, en faisant référence aux dessins annexés, sur lesquels :

20 - les figures 1 à 3 illustrent très schématiquement des techniques connues pour fabriquer des dispositifs de puissance respectivement sur un substrat massif standard (figure 1), sur un substrat aminci en fin de procédé (figure 2) et sur un substrat épitaxié (figure 3) et ont déjà été décrites,

25 - la figure 4 est une vue en coupe schématique d'un mode de réalisation particulier du dispositif objet de l'invention, et

les figures 5A à 5D illustrent schématiquement diverses étapes d'un mode de mise en œuvre particulier du procédé objet de l'invention.

5 EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

Selon un procédé conforme à l'invention, on forme un composant électronique, plus particulièrement un composant de puissance, dans une couche mince de matériau semiconducteur. On limite ainsi l'épaisseur du
10 composant à celle d'une couche mince (épaisseur inférieure ou égale à 200µm, typiquement de l'ordre de 50µm ou moins).

On reporte ensuite cette couche, par un collage électriquement conducteur, sur un substrat dont
15 la fonction est double : ce substrat assure la tenue mécanique de l'ensemble et la reprise de contact en la face arrière du composant, sans intervenir dans le fonctionnement de ce dernier.

On propose ainsi un procédé de fabrication
20 de composants de puissance dont l'épaisseur électrique est faible, typiquement de 50µm, avec traitement double face, et dont l'épaisseur mécanique est standard, typiquement de l'ordre de 500µm pour un substrat processé de 100mm de diamètre.

25 Ce procédé permet de réduire simultanément les pertes à l'état ON et les pertes de commutation ON=>OFF (on obtient les mêmes pertes ON et ON=>OFF que pour un composant formé sur plaque ultra-mince, conformément à une technique connue, mentionnée plus
30 haut) tout en ayant un substrat dont la tenue mécanique

est celle d'un substrat "standard" (on obtient la même rigidité mécanique que dans le cas des plaques standard ou épitaxiées mentionnées plus haut).

Le procédé proposé ne conduit pas à des limitations de dimensions, tant pour les épaisseurs respectives de la plaque mince, ou couche mince, et de la plaque de support, ou substrat de support, que pour les diamètres respectifs de ces plaques (qui ont généralement le même diamètre).

La figure 4 est une vue en coupe schématique d'un mode de réalisation particulier du dispositif objet de l'invention. Il s'agit par exemple d'un écreteur de tension 34 qui est formé sur une plaque semiconductrice mince 36.

Des zones 38 et 40 sont respectivement implantées sur la face avant et sur la face arrière de cette plaque 36. On voit en outre des zones 42 qui sont implantées dans la zone 38.

L'écreteur de tension 34 comprend en outre une plaque de support 44 qui est très faiblement résistive et dont la face avant est en contact électrique, ou contact ohmique, avec la face arrière de la plaque mince 36 par l'intermédiaire d'un collage métallique 46.

En outre, des contacts électriques 48 et 50 sont formés sur la face avant de la plaque mince 36 et sur la face arrière de la plaque de support 44.

La plaque mince 36 est donc la plaque électriquement active sur laquelle est formé un composant de puissance 34 (écreteur de tension).

A la différence des composants réalisés sur des plaques épitaxiées, cette plaque comporte des zones traitées (par exemple par lithographie ou par gravure) sur ses deux faces (alors qu'une plaque épitaxiée ne
5 comporte qu'une seule face traitée, à savoir la face avant).

L'émetteur (zone 40, par exemple de type P+) que comporte le composant a une faible efficacité qui résulte d'une faible dose implantée et d'une faible
10 diffusion (mais on pourrait aussi insérer une zone N avant de réaliser la zone P+ pour réduire l'efficacité de l'émetteur).

Cet émetteur peut être formé sur la face arrière de la plaque 36 à la fin du traitement de cette
15 plaque, avant de coller cette dernière sur la plaque de support 44.

Cette plaque de support (qui est par exemple une plaque de Si très faiblement résistif) ne joue aucun rôle actif dans le fonctionnement du
20 composant. Elle assure simplement l'amenée du courant du contact 50, ou contact de face arrière, vers la face arrière de la plaque mince 36 et doit être aussi conductrice que possible afin de réduire au maximum les pertes à l'état ON.

25 Cette plaque 44 n'est pas forcément en silicium. Elle peut être faite d'un autre semi-conducteur, d'un métal ou de tout autre matériau conducteur (un polymère conducteur par exemple).

Cette plaque de support 44 assure, comme on
30 l'a vu, la rigidité mécanique de l'ensemble.

Le collage métallique 46 assure le contact électrique ohmique entre les deux plaques 36 et 44. La valeur de la résistance de ce contact doit être la plus faible possible pour réduire les pertes à l'état ON.

5 Pour obtenir un collage ohmique répondant à ces exigences, il est nécessaire que les concentrations surfaciques des dopants soient suffisamment élevées (sur la face arrière de la plaque active (plaque 36) et sur la face avant de la plaque de support 44 si celle-
10 ci est faite d'un matériau semiconducteur).

La concentration minimale dépend du type de métal choisi pour le collage métallique. Si le dopage surfacique n'est pas suffisant, on peut obtenir une diode Schottky en série avec le composant réalisé, ce
15 qui n'est pas le but recherché.

Ce collage métallique est une zone de recombinaison de tous les porteurs. Par exemple, dans le cas où la plaque de support 44 est une plaque P+ fortement dopée et où l'émetteur est une couche P+, la
20 couche métallique permet de ne pas se trouver dans le cas des plaques épitaxiées, en constituant une zone de recombinaison des porteurs qui se comporte comme une zone de rupture des phénomènes de la physique des semiconducteurs entre les deux plaques 36 et 44.

25 On a donc un composant de puissance qui est formé sur une plaque mince et comporte un émetteur de faible efficacité (et/ou est formé par un procédé comportant des étapes technologiques sur la face arrière, telles que, par exemple, des lithographies sur
30 cette face arrière ainsi qu'un alignement utilisant la face avant).

De plus, la rigidité mécanique de ce composant de puissance est celle d'un composant réalisé sur une plaque épaisse.

On obtient ainsi de faibles pertes ON, de faibles pertes de commutation ON=>OFF et des rendements mécaniques comparables à ceux que l'on obtient lors de la réalisation de composants sur des plaques "standard".

On décrit ci-après un exemple de fabrication d'un composant de puissance vertical sur une plaque électriquement ultra-mince et mécaniquement épaisse, conformément à l'invention.

Tout au long de ce processus technologique on remarquera qu'aucune plaque mince n'est manipulée directement et que l'on utilise toujours des poignées (support de face avant 54 sur la figure 5B) pour conserver une épaisseur "standard", ce qui garantit une bonne rigidité et permet l'utilisation d'équipements et de processus "standard" de la microélectronique.

1. On part d'une plaque active 52 (figure 5A) qui a une épaisseur standard (forte d'épaisseur) et sur laquelle on effectue les étapes technologiques de la face avant : on forme les zones implantées 38 et 42 déjà mentionnées dans la description de la figure 4.

2. Après avoir éventuellement reporté des marques d'alignement sur la face arrière de la plaque active 52, une plaque de support 54, qui sert de poignée, est collée contre la face avant de la plaque active 52 (figure 5B).

Les marques d'alignement peuvent être, par exemple, des motifs spécifiques d'alignement (croix ou

mires) ou des réseaux de diffraction permettant d'aligner les niveaux de masques les uns par rapport aux autres.

Les marques d'alignement, sont
5 éventuellement reportées sur la face avant de la plaque de support 54.

La face arrière de la plaque active 52 est ensuite amincie jusqu'à l'épaisseur voulue (par exemple 60 μ m pour une tenue en tension de 600V). On obtient
10 ainsi la plaque active mince 36 de la figure 4 à partir de la plaque épaisse 52.

Il convient de noter que l'épaisseur totale de la plaque 36 et du support 54 est forte.

3. Les étapes de traitement de la face
15 arrière de la plaque active mince 36 sont réalisées (formation de la zone 40).

Si des alignements sont nécessaires, ils peuvent être faits car les marques d'alignement existent sur la face avant du support 54.

20 Le support conducteur 44 (plaque de support très faiblement résistive) est collé sur la face arrière de la plaque mince 36 par l'intermédiaire de l'interface métallique 46 (figure 5C).

4. La plaque de support 54 est ensuite
25 retirée (par décollement, élimination ou une autre méthode), on achève le traitement de la face arrière de la plaque active 36 et les contacts de face avant et de la face arrière 48 et 50 sont formés.

Dans une variante du procédé que l'on vient
30 d'exposer, on peut d'abord traiter la face arrière de la plaque épaisse 52, coller cette face arrière au

support conducteur 44 par l'intermédiaire du collage
métallique 46, amincir la plaque épaisse 52 par sa face
avant et traiter la face avant de la plaque mince
obtenue 36 pour y former les zones 38 et 42. Dans ce
5 cas, on n'a pas besoin de poignée-support.

Cependant, dans ce cas, le traitement de la
face arrière de la plaque épaisse 52 nécessite un
chauffage par bilan thermique plus important que pour
la face avant, ce qui limite les possibilités pour la
10 face arrière (notamment en matière de profils de
dopants et collage conducteur).

On a formé des composants sur des substrats
minces, de $100\mu\text{m}$ d'épaisseur, en utilisant le processus
précédent. On a par exemple formé un écrêteur de
15 tension ou micro-parafoudre :

1. Des zones P et N+ ont été formées sur la
face avant d'une plaque de silicium de 4 pouces
(environ 10cm) de diamètre et de $550\mu\text{m}$ d'épaisseur,
constituant une plaque active.

20 2. Après dépôt d'une épaisse couche d'oxyde
de silicium sur la face avant de cette plaque et
planarisation de cette couche, on a collé une poignée
de support sur la face avant, cette poignée ayant une
épaisseur de $550\mu\text{m}$.

25 La plaque active a été amincie par sa face
arrière jusqu'à une épaisseur de $100\mu\text{m}$. A ce stade,
l'ensemble formé par la poignée et la plaque active
avait une épaisseur de $650\mu\text{m}$.

3. Le traitement de la face arrière de la
30 plaque active a été réalisé (photo-lithographie,

gravures, implantation P+, recuits à des températures supérieures à 1000°C).

Un dépôt de palladium de quelques dizaines de nanomètres d'épaisseur a été formé sur la face arrière de la plaque active et un autre dépôt de la même épaisseur a été formé sur une plaque de support en silicium dopé N+, de quelques mohms.cm de résistivité et de 550µm d'épaisseur.

Après nettoyage des surfaces et mise en contact des surfaces à coller, un recuit approprié a été effectué. A ce stade, la plaque traitée avait une épaisseur de 1200µm.

4. La plaque supérieure constituant la poignée a été éliminée, les ouvertures des contacts électriques ont été formées puis les métallisations de la face avant et de la face arrière ont été formées (dépôt, photolithographie, gravure et recuit du métal).

A la fin de ce processus la plaque a une épaisseur de 650µm.

Des mesures de caractéristiques dynamiques ont été faites sur les composants ainsi fabriqués et montrent l'avantage résultant de la formation de tels composants sur des plaques ultra-minces traitées sur leurs deux faces.

En effet, l'écrêtage en tension est beaucoup plus franc et les fronts de commutation sont plus importants que pour les composants formés de façon classique, tout en diminuant les pertes statiques par rapport aux composants formés sur des plaques standard.

On connaît différentes techniques de scellement métallique pour coller deux plaques en matériaux semiconducteurs.

On peut utiliser un brasage, méthode de soudure qui consiste à assembler deux matériaux par la refusion d'un métal non ferreux.

On utilise les scellements par brasage au moyen de couches relativement épaisses, appelées "préformes", d'environ 50µm d'épaisseur. Dans ce cas, les alliages fusibles utilisés sont de type SnPb (dont la température de fusion T_f vaut 180°C), AuSn ($T_f=280^\circ\text{C}$) ou AuSi ($T_f=460^\circ\text{C}$).

On utilise aussi les scellements par brasage à l'aide de couches minces dont l'épaisseur vaut quelques micromètres. Les métaux fusibles utilisés peuvent être de type AuSn (80/20), SnPb ou Ni.

On peut aussi utiliser un scellement par thermocompression avec des couches métalliques, par exemple des couches de Ti ou de Ta.

Ces techniques sont plutôt utilisées pour l'hybridation de composants de petites dimensions. Leur application au collage de surfaces de grandes dimensions (cas de plaques en matériaux semiconducteurs) est néanmoins délicate.

En effet, ces techniques de scellement utilisent des couches métalliques relativement épaisses, de plusieurs micromètres, voire de plusieurs dizaines de micromètres, d'épaisseur.

En conséquence, on n'est pas sûr de la tenue mécanique de ces couches métalliques ni de celle de l'ensemble collé plaque de semi-conducteur/alliage

métallique/plaque de semiconducteur, lors de traitements thermiques, en particulier lors de refroidissements, en raison de la forte différence entre les coefficients de dilatation thermique des métaux et ceux des semiconducteurs.

C'est pourquoi on utilise de préférence les techniques de collage par adhésion moléculaire.

Le collage par adhésion moléculaire, ou collage direct (en anglais "wafer bonding"), est un procédé par lequel deux surfaces adhèrent l'une à l'autre à température ambiante, sans l'intervention d'une colle ou de forces externes.

Un tel collage a lieu lorsque les deux surfaces à sceller sont suffisamment lisses et propres et placées à faible distance, de l'ordre de 10 à 100 nanomètres, l'une de l'autre. Les forces attractives entre les deux surfaces deviennent alors assez grandes pour les attirer l'une vers l'autre. Après une initiation en un point de contact, une propagation spontanée de l'adhésion a lieu.

Cette technique se différencie des autres méthodes de scellement par le fait qu'elle permet le collage de grandes surfaces de plaques semiconductrices à température ambiante. La réussite d'un tel collage, en termes de défauts de collage et de forces d'adhésion, est essentiellement fondée sur le savoir-faire et la maîtrise des nettoyages des surfaces qui vont être mises en contact.

Le collage par adhésion moléculaire peut être utilisé pour connecter électriquement deux plaques semiconductrices. Dans ce cas, typiquement, une fine

couche d'un métal approprié, dont l'épaisseur est inférieure à $1\mu\text{m}$, recouvre l'une des deux surfaces à coller ou ces deux surfaces.

5 Le collage métallique, par adhésion moléculaire, est étudié par de nombreuses équipes de recherche, dont les divers travaux ont permis de tester la capacité à coller de diverses couches métalliques essentiellement déposées sur du silicium.

10 Selon un procédé conforme à l'invention, on reporte un film mince de quelques dizaines de micromètres, partiellement traité sur ses deux faces, sur un support conducteur, par l'intermédiaire d'un collage permettant une bonne continuité électrique entre les éléments mis en contact.

15 Après ce collage conducteur, la structure ainsi obtenue est soumise aux dernières étapes technologiques de fabrication (par exemple des métallisations) du dispositif.

20 On choisit donc la mise en œuvre d'un collage métallique par adhésion moléculaire qui est compatible avec les étapes technologiques de fabrication du dispositif considéré, ces étapes étant réalisées avant et après le collage métallique.

25 On s'attachera en particulier à vérifier que les traitements thermiques mis en œuvre lors du procédé de collage métallique sont compatibles avec la technologie du dispositif considéré.

30 Dans l'exemple de réalisation d'une structure telle qu'un film ou une plaque mince de silicium que l'on rend solidaire d'un support en silicium par l'intermédiaire d'un collage conducteur,

on choisira préférentiellement des métaux ou des composés métalliques, capables de former des alliages stables avec le silicium, lors de la formation du collage métallique.

5 Le tableau I, qui se trouve à la fin de la présente description, est extrait du document suivant :

 M.A. Nicolet et S.S. Lau, "Silicides", VLSI Handbook, Academic Press, Chapitre 24, pages 415 à 433, 1985.

10 Il donne quelques exemples de métaux pouvant être utilisés pour le collage conducteur, par adhésion moléculaire, de plaques de silicium entre elles, ainsi que les alliages (siliciures) formés entre ces métaux et le silicium et, pour chaque siliciure, la
15 température de formation de ce siliciure et la valeur de résistivité.

 Diverses variantes pour le collage conducteur, par adhésion moléculaire, d'une plaque mince de silicium peuvent être utilisées :

20 On peut déposer l'élément A (voir le tableau I) sur la face arrière de la plaque mince et/ou sur la face avant du support conducteur.

 Au lieu de cela, on peut déposer le siliciure A-Si est déposé sur la face arrière de la
25 plaque mince et/ou sur la face avant du support conducteur.

TABLEAU I

Elément (A)	Siliciure (A-Si)	Température de formation (°C)	Résistivité (10^{-6} ohm.cm)
Ti	TiSi	500	63±6
	TiSi ₂	600	10-25
V	VSi ₂	600	50-55
Cr	CrSi ₂	450	>250-1420
Mn	MnSi	400-500	200-260
	MnSi ₂	800	6500-13000
Fe	FeSi	450-550	260-290
	FeSi ₂	550	-
Co	Co ₂ Si	350-500	60-130
	CoSi	375-500	90-170
	CoSi ₂	550	18-65
Ni	Ni ₂ Si	200-350	20-25
	NiSi	350-750	14-50
	NiSi ₂	≥750	34-60
Mo	MoSi ₂	525	21-200
Pd	Pd ₂ Si	100-300	25-35
	PdSi	850	-
Ta	TaSi ₂	650	8.5-55
W	WSi ₂	650	50-200
Pt	Pt ₂ Si	200-500	-
	PtSi	300	28-40

REVENDICATIONS

1. Dispositif électronique comprenant une partie active (38, 40, 42), une première couche mince (36) qui est faite d'un matériau semiconducteur et dans laquelle est formée cette partie active, et un substrat (44) qui est fait d'un matériau électriquement conducteur, ce dispositif étant caractérisé en ce qu'il comprend en outre une deuxième couche mince (46), qui est faite d'un matériau électriquement conducteur et située entre le substrat et la première couche mince et qui assure un collage électriquement conducteur entre ce substrat et cette première couche mince.

2. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel le matériau dont est faite la deuxième couche mince (46) est un métal.

3. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel le matériau dont est faite la deuxième couche mince (46) est un alliage semiconducteur/métal.

4. Dispositif selon la revendication 3, dans lequel l'alliage dont est faite la deuxième couche mince (46) est choisi de façon qu'il soit stable vis-à-vis des matériaux dont sont respectivement faits le substrat et la première couche mince.

5. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel le matériau dont est fait le substrat (44) est un semiconducteur fortement dopé, en particulier le silicium fortement dopé.

6. Dispositif selon la revendication 5, dans lequel le matériau dont est faite la deuxième couche mince (46) est un métal et ce métal est choisi de façon qu'il forme, lors du collage électriquement

conducteur, un alliage stable avec le semiconducteur fortement dopé dont est fait le substrat et avec le matériau semiconducteur dont est faite la première couche mince.

5 7. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel le matériau dont est fait le substrat (44) est un métal.

8. Dispositif selon la revendication 7, dans lequel la deuxième couche mince (46) est faite du métal dont est fait le substrat et formée par une
10 partie de ce substrat.

9. Procédé de fabrication d'un dispositif électronique, ce procédé étant caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes :

15 -on forme une partie (38, 42) du dispositif dans un substrat semiconducteur standard (52), du côté de la face avant de ce substrat semiconducteur standard,

 -on fixe un support de traitement (54) à la
20 face avant du substrat,

 -on amincit le substrat semiconducteur standard par la face arrière de celui-ci, de manière à le transformer en une couche mince (36),

 -on forme une autre partie (40) du
25 dispositif dans le substrat semiconducteur standard ainsi transformé, du côté de la face arrière de ce substrat semiconducteur standard,

 -on dépose, sur la face arrière de ce substrat semiconducteur standard et/ou sur une face
30 d'un substrat électriquement conducteur, une couche

mince, formée d'un métal ou d'un alliage
métal/semiconducteur,

-on procède, par l'intermédiaire de la
couche mince, formée du métal ou de l'alliage
5 métal/semiconducteur, à un collage électriquement
conducteur entre le substrat électriquement conducteur
et la couche mince en laquelle a été transformé le
substrat semiconducteur standard, et

-on enlève le support de traitement (54).

10 10. Procédé de fabrication d'un dispositif
électronique, ce procédé étant caractérisé en ce qu'il
comprend les étapes suivantes :

-on forme une partie (38, 42) du dispositif
dans un substrat semiconducteur standard (52), du côté
15 de la face arrière de ce substrat semiconducteur
standard,

-on dépose, sur la face arrière de ce
substrat semiconducteur standard et/ou sur une face
d'un substrat électriquement conducteur, une couche
20 mince, formée d'un métal ou d'un alliage
métal/semiconducteur,

-on procède à un collage électriquement
conducteur entre le substrat électriquement conducteur
et le substrat semiconducteur standard, par
25 l'intermédiaire de la couche mince,

-on amincit le substrat semiconducteur
standard par la face avant de celui-ci, de manière à le
transformer en une couche mince (36), et

-on forme une autre partie (40) du
30 dispositif dans le substrat semiconducteur standard

ainsi transformé, du côté de la face avant de ce substrat semiconducteur standard.

11. Procédé selon l'une quelconque des revendications 9 et 10, dans lequel on forme en outre des contacts électriques (48, 50) du dispositif sur la couche mince, en laquelle a été transformé le substrat semiconducteur standard, et sur le substrat électriquement conducteur.

12. Procédé selon l'une quelconque des revendications 9 à 11, dans lequel le substrat électriquement conducteur (44) est fait d'un matériau choisi parmi les semiconducteurs fortement dopés, en particulier le silicium fortement dopé, et les conducteurs, en particulier les métaux.

13. Procédé selon la revendication 12, dans lequel le substrat électriquement conducteur est fait d'un matériau choisi parmi les semiconducteurs fortement dopés, en particulier le silicium fortement dopé, le métal ou l'alliage métal/semiconducteur étant choisi de sorte qu'il forme, après un recuit suivant le collage électriquement conducteur, un alliage stable avec le matériau dont est fait le substrat électriquement conducteur et avec le matériau dont est fait le substrat semiconducteur standard.

14. Procédé selon la revendication 12, dans lequel l'étape de collage électriquement conducteur est précédée d'une étape de préparation d'au moins l'une des deux faces à assembler par le collage électriquement conducteur afin de favoriser ce collage.

15. Procédé selon l'une quelconque des revendications 9 à 14, dans lequel le collage

électriquement conducteur (46) est choisi parmi le collage par brasure, le collage par thermocompression et le collage par adhésion moléculaire.

1/3

Fig. 1

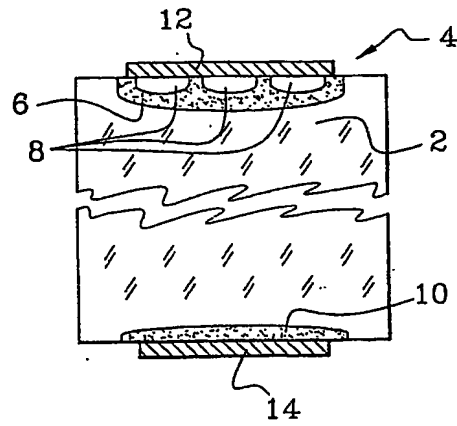


Fig. 2

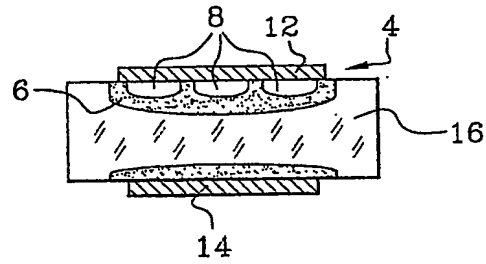


Fig. 3

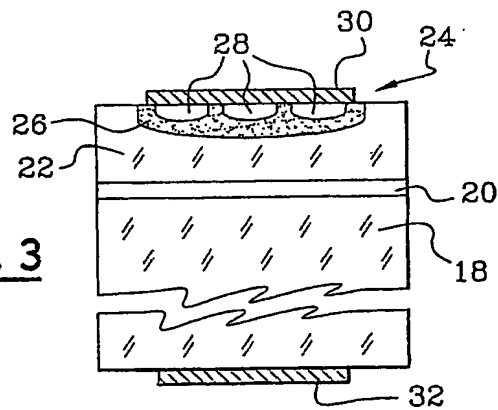


Fig. 4

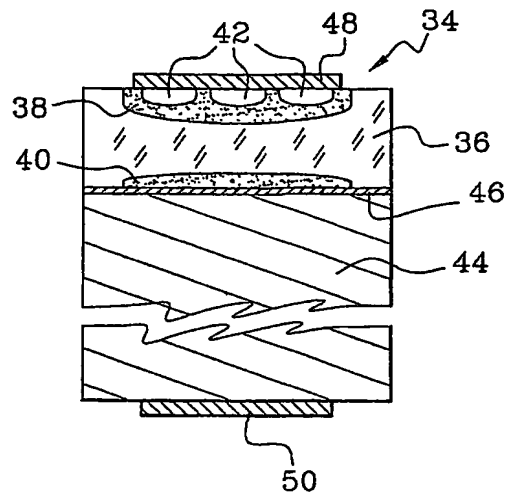


Fig. 5A

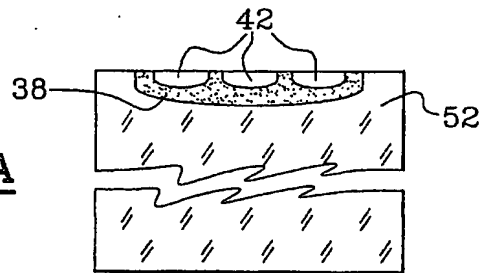


Fig. 5B

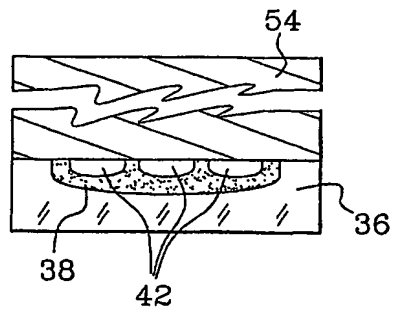


Fig. 5C

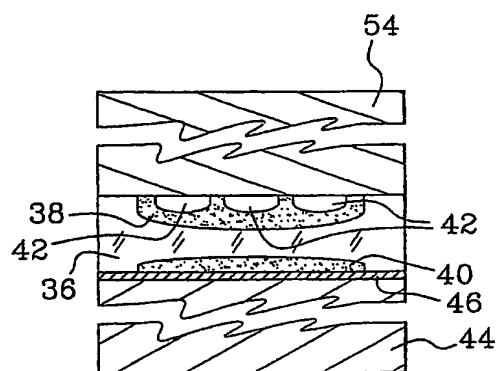
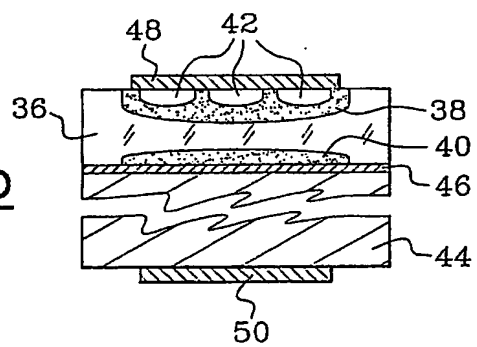


Fig. 5D





reçue le 11/07/02

BREVET D'INVENTION
CERTIFICAT D'UTILITÉ
Code de la propriété intellectuelle - Livre VI



DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08

Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 93 59 30

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 1. / 1.
(Si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

08 113 W / 260899

Vos références pour ce dossier (facultatif)		B 14025.3/PV DD 2306	
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL		02.08453 du 05.07.2002	
TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum) DISPOSITIF ELECTRONIQUE, NOTAMMENT DISPOSITIF DE PUISSANCE, A COUCHE MINCE, ET PROCEDE DE FABRICATION DE CE DISPOSITIF.			
LE(S) DEMANDEUR(S) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE 31/33 rue de la Fédération 75752 PARIS 15ème			
DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) : (Indiquez en haut à droite «Page N° 1/1» S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez un formulaire identique et numérotez chaque page en indiquant le nombre total de pages).			
Nom		CLAVELIER	
Prénoms		Laurent	
Adresse	Rue	Appt.1102 8, rue Guillaume Apollinaire	
	Code postal et ville	38400	SAINT MARTIN D'HERES
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom		JALAGUIER	
Prénoms		Eric	
Adresse	Rue	205, chemin des Roux Le Penet	
	Code postal et ville	38450	SAINT MARTIN D'URIAGE
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom			
Prénoms			
Adresse	Rue		
	Code postal et ville		
Société d'appartenance (facultatif)			
DATE ET SIGNATURE(S) DU (DES) DEMANDEUR(S) OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire) PARIS LE 11 Juillet 2002 J. LEHU 422-5/002			

La loi n°78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés s'applique aux réponses faites à ce formulaire.
Elle garantit un droit d'accès et de rectification pour les données vous concernant auprès de l'INPI.

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.